



# Intermediate Laboratory

.

. .

**2007/2008**



## Table of Contents

1	Franck-Hertz Experiment	-	(A)	1
3	Black Body Radiation		(B)	2
7	Millikan's Oil Drop		(C)	3
11	Electron Diffraction		(D)	4
15	Fine Beam Tube (e/m)		(E)	5
19	Diffraction Grating		(F)	6
25	Hall Effect		(G)	7
33	Photoelectric Effect		(H)	8
37	X-ray Diffraction		(I)	9
41	Geiger-Muller I	-	(J)	10
45	Geiger-Muller II	-		
	Statistics of Counting		(K)	11
45	Error Analysis			1
49	Least Squares Method			2
53	Chi- Square Table	$\chi^2$		3
57	References			

---

يشكر المؤلفان الزميلين مساعدي البحث والتدريس في قسم الفيزياء في جامعة اليرموك السيد قتاد  
سماره والسيد حامد حمادنه على جهودهما في تدريس هذا المساق واقتراحاتهما البناءة لتحسين مستواه  
والتعديلات على هذا المؤلف ليتواءم والمختبر في القسم.

## مقدمة:

في هذا المساق سوف يتعلم الطالب عند عمل التجربة الطرق المخبرية في كيفية قياس معطيات ظاهرة فيزيائية باستخدام الأجهزة المناسبة وكيفية تدوينها وتحليلها؛ ومن ثم تقديم تقرير علمي مكتوب بأقصى دقة ممكنة يشرح التجربة ويحوي المعطيات ويحلل النتائج للوصول إلى فيزياء الظاهرة والتي هي بيت القصيد من التجربة.

## تعليمات عامة:

### . الأجهزة:

- أ. إن معظم الأجهزة المستخدمة في هذا المختبر حساسة وتعطيها يُسبب تعطيل المختبر وهو بالتأكد ليس هدفنا.
- ب. لا تُشغل أي جهاز قبل أن يتأكد المشرف من كافة التوصيلات. تعرّف على الأجهزة في بداية كل تجربة.
- ج. لا تُشغل الأجهزة باستخدام مفتاح الطاقة ON/OFF إلا بعد وصلها بالتيار الرئيسي (220 V)
- د. عند انتهاء التجربة، أطفئ الأجهزة باستخدام مفتاح الطاقة ثم افصلها عن التيار الرئيسي ولا تفعل أبداً العكس.

### II. دفتر المختبر:

- أ. يجب أن يكون الدفتر من النوع الذي يحوي ورق رسم بياني. لا تستعمل ورقاً منفصلاً أبداً.
- ب. تُكتب القياسات دائماً بالحبر وفي جداول حيث أمكن.
- ج. تُفسر عملية القياس بكلمات بسيطة لكي يسهل تحليلها فيما بعد.
- د. توضع الوحدات جميعها وكذلك نسب الخطأ في كل قياس، سواء كانت تقديرية أو مُقاسة مخبرياً.
- هـ. حاول عمل تحليل سريع لمعطيات التجربة أثناء عملها لتفادي أية أخطاء محتملة.

### III. تقرير التجربة:

بعد أسبوع تماماً من عمل التجربة يجب على كل طالب كتابة تقرير مفصل ذي بنية واضحة، يركّز فيه على الجزء المتعلق بتحليل النتائج.

## A. بنية التقرير:

أ. ملخص (خلاصة التقرير) Abstract

وصف مختصر للتجربة، لنتائجها ونسب الخطأ فيها. وينتهي الملخص بمقارنة مع القيم المتوقعة إن أمكن. يجب أن لا يزيد عدد الأسطر المخصصة للملخص عن خمسة.

ب. مقدمة: Introduction

وصف تفصيلي للتجربة، عن تاريخها إن كان ذلك مناسباً، عن أهميتها في الفيزياء وما شابه ذلك بأقل الكلام وأدله.

ج. نظرية التجربة: Theory

المطلوب هنا هو شرح مختصر وواف للنظرية المراد دراستها.

د. طريقة عمل التجربة: Experimental Procedure

وصف للتجربة والأجهزة المستخدمة مع رسومات توضيحية لكافة التوصيلات.

هـ. النتائج: Results

هذا هو الجزء الأهم من التقرير ويجب أن يحوي التالي:

1. جداول تحوي كل القياسات مع وحدات الكميات المقاسة ونسب الخطأ المخبرية.

2. رسومات بيانية تمثل القياسات المخبرية والأخطاء.

3. نتائج الحسابات وكذلك نسبة الخطأ فيها مع التركيز على أهم أهداف التجربة.

و. الاستنتاجات والمناقشة: Discussion and Conclusions

اشرح توافق نتائجك أو عدمه مع النتائج المتوقعة.

ابحث عن سبل لتحسين التجربة وقارن طريقة عملك مع طرق أخرى ممكنة إلخ ...

## B. تقييم التقرير:

أ) الملخص والمقدمة وطريقة العمل والنظرية : علامتان

ب) النتائج: الجداول والوحدات والأخطاء والرسومات البيانية : علامتان

ج) الحسابات والأخطاء فيها : علامتان

د) حسابات الأخطاء وخاصة المحسوبة باستخدام Least Squares : علامتان

هـ) الاستنتاجات والمناقشة : علامتان

## Franck- Hertz Experiment

**الهدف:** التحقق من "تكميم" الطاقة وإيجاد طاقة الإثارة للزئبق.

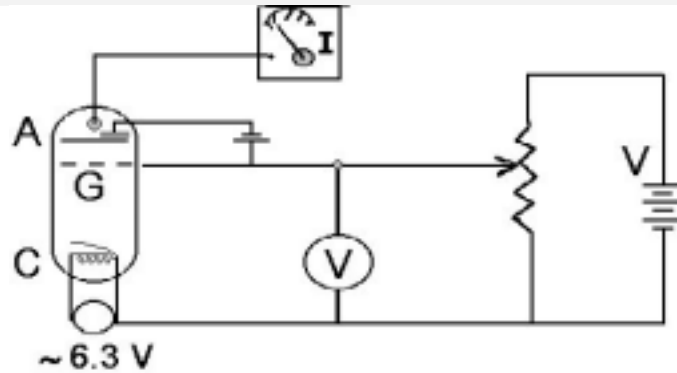
**الأجهزة:** أنبوب فرانك- هيرتز، مولد جهد وميزان حرارة رقمي.

**تمهيد نظري:**

حين تمر الإلكترونات المسرّعة خلال بخار الزئبق فإنّ بعضها يؤدي إلى إثارة الذرات التي تتفاعل معها وبالتالي تفقد هذه الإلكترونات من طاقتها مقدار طاقة الإثارة  $\epsilon$ . إذا كانت طاقة الإلكترون أكبر بقليل من ضعف طاقة الإثارة فإنّ هناك احتمالاً أن يتفاعل هذا الإلكترون مع ذرتين مختلفتين ويفقد بذلك ضعف طاقة الإثارة، أي  $2\epsilon$ . وبشكل عام فإنّ الإلكترون الذي طاقته  $eV$  يمكن أن يتفاعل مع  $(n)$  ذرة ويفقد من طاقته  $(n \epsilon)$  إذا كانت طاقته أكبر بقليل من  $(n \epsilon)$  وهكذا.

إذا قمنا بقياس عدد الإلكترونات (على شكل تيار  $I$ ) التي تخترق البخار ونصل إلى المصعد  $A$  مع جهد التسريع  $(V)$  ومثلّنا بيانياً العلاقة بين  $(I)$  و  $(V)$  فإنّنا نحصل على قيم عظمى وصغرى في التيار. ويمكن أن تُكتب العلاقة بين رقم القمة  $(n)$  والجهد  $(V)$  الذي تقع عليه القمة على النحو التالي:

$$eV = n \epsilon + e a \quad (1)$$



الشكل 1-1: رسم تخطيطي لأنبوب فرانك-هيرتز

### الخطوات:

#### الجزء الأول: دراسة حركة الالكترونات بدرجة حرارة الغرفة

- 1- تعرف على أنبوب فرانك-هيرتز.
- 2- صل الدارة المبينة في الشكل (1-1) دون رفع درجة حرارة الأنبوب.
- 3- ضع الأميتر عند المقياس  $10^{-8}$ ، لماذا؟

4- غير الجهد تدريجيًا وسجّل في جدول قيم التيار (I) مع الجهد كل 1V حتى تصل إلى جهد مقداره 35 V.

5- ارسم العلاقة بين جهد التسريع (V) والتيار (I) ولاحظ ثبوت التيار في نهاية المنحنى.

a. ما سبب ثبوت التيار؟

b. ماذا يسمى هذا التيار؟

### الجزء الثاني: دراسة حركة الإلكترونات حول درجة الحرارة $180^{\circ}\text{C}$

1- دع الدارة الموصولة أعلاه كما هي في الجزء السابق. ضع منظم الحرارة، الموجود على جانب

الجهاز، على درجة  $180^{\circ}\text{C}$ . لا تنسَ أن تُعيد المنظم إلى وضعه الأصلي حين إنهاء التجربة.

2- ضع جهد التسريع عند صفر.

3- ضع الأميتر عند المقياس  $10^{-11}$ ، لماذا؟

4- غير الجهد تدريجيًا وسجّل في جدول قيم التيار (I) مع الجهد كل 0.5 V.

5- مثل بيانيًا العلاقة بين المتغيرين (I) و (V) من المعطيات التي حصلت عليها في الخطوة السابقة.

6- استخرج مواقع القمم من الرسم البياني أي حدّد قيم الجهد التي تحصل عندها على قمم وحدّد الخطأ الذي ترتكبه في تحديدها.

7- ارسم علاقة خطية بين مواقع القمم وأرقامها، ثمّ، وباستخدام طريقة Least Squares، احسب طاقة الإثارة  $\epsilon$  والثابت  $a$  مع قيم الخطأ المرادفة  $\Delta\epsilon$  و  $\Delta a$ .

8- علّق على التجربة والنتائج.

### أسئلة:

1- ما هو الغرض من الشبكة الموجودة في أنبوب فرانك - هيرتز؟

2- فسّر بالتفصيل لماذا نحصل على قيم عظمى وصغرى في التيار في الرسم البياني؟

3- فسّر كيف تمّ الحصول على العلاقة 1؟ ماذا يعني الثابت  $a$ ؟ وما علاقته بمعطيات التجربة؟

4- فسّر كيف يعمل جهد التسريع على تحريك الإلكترونات.

5- هل طاقة الإثارة التي حصلت عليها هي للمستويات الداخلية لذرة الزئبق؟ فسّر ذلك.

6- هل يمكنك أن تفسر انخفاض قراءات التيار بشكل واضح في الجزء الثاني عنه في الجزء الأول؟



## Black Body Radiation

**الهدف:** - دراسة إشعاع الجسم الأسود

- التحقق من قانون القوة الرابعة وإيجاد ثابت ستيفان - بولتزمان

- إثبات تكميم الإشعاع.

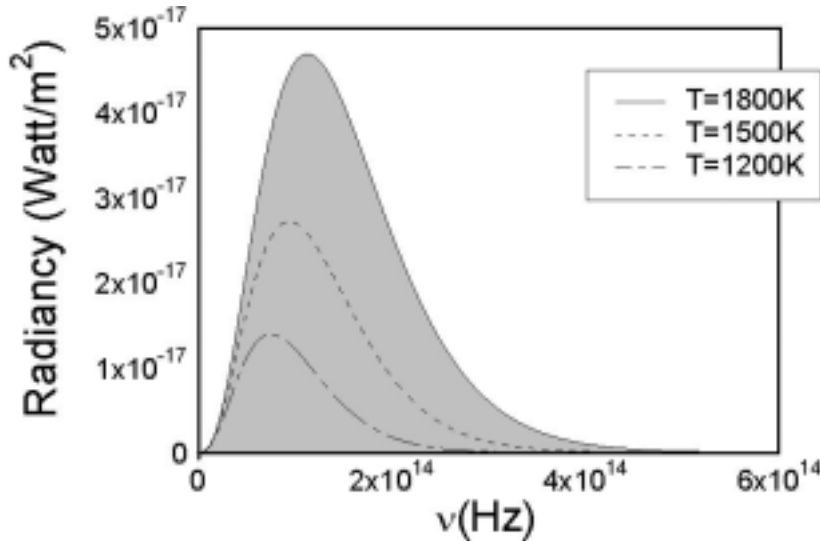
**الأجهزة:** فرن به فجوة ذات فتحة صغيرة، ثيرموميتير، مولد جهد، مضخة ماء للتبريد، خلية حرارية (Thermopile) وجلفانوميتر.

**تمهيد نظري:**

إذا سُخِّنَ جسم أسود إلى درجة حرارة  $T(K)$  فإنه يُشعّ طاقة على شكل فوتونات ذات توزيع موجي مُحدّد كما في الشكل 1-2، حيث  $R_v$  هي القدرة الإشعاعية (Spectral Radiancy) للجسم الأسود لتردد معيّن.

تُعرّف القدرة الاشعاعية الكلية  $R$  (Radiancy) للجسم الأسود بالعلاقة 1

$$R = \int_0^{\infty} R_v dv \quad (1)$$



الشكل 1-2:  $R_v$  vs.  $\nu$

حيث تُعطى  $R$  بوحدة  $\text{Watt/m}^2$ . ويُعطى قانون ستيفان-بولتزمان علاقة بين القدرة الاشعاعية للجسم ودرجة حرارته (قانون القوة الرابعة):

$$R = \sigma T^4 \quad (2)$$

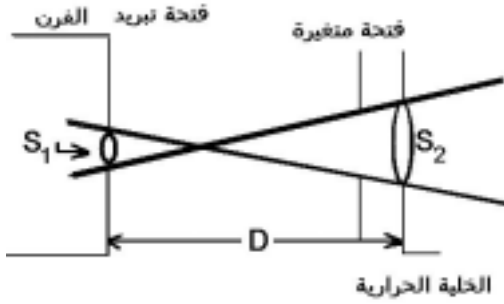
حيث  $\sigma$  = ثابت ستيفان - بولتزمان.

سوف نستخدم في هذه التجربة فجوة ذات فتحة صغيرة نصف قطرها  $r_1 = 4 \text{ mm}$  لتمثل الجسم الأسود. ونستخدم خلية حرارية (Thermopile) نصف قطرها  $r = 12 \text{ mm}$  لالتقاط الطاقة الاشعاعية المنبعثة من الفتحة (الشكل 2-2).

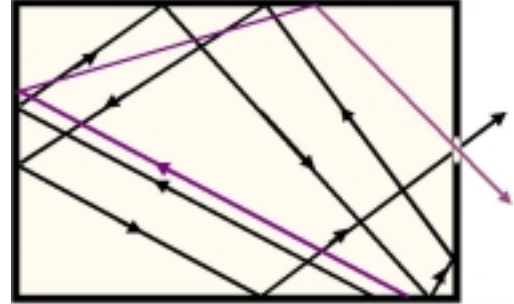
إذا كانت المسافة بين الجسم الأسود (الفتحة الصغيرة) وبين فتحة الخلية الحرارية (D) كما في الشكل 3-2 فإن القدرة الاشعاعية (بوحدة Watt) تُعطى بالعلاقة:

$$P = \frac{S_1 S_2}{2\pi D^2} \sigma T^m = \alpha \sigma T^m \quad (3)$$

حيث تمثل  $S_1$  و  $S_2$  مساحة مقطع فتحة الفرن والخلية الحرارية على الترتيب. ويمكن حساب P من انحراف الغلفانوميتر الموصول بالخلية الحرارية اعتماداً على المعلومات التالية:



الشكل 3-2



الشكل 2-2

حساسية الخلية الحرارية  $0.16 \text{ V/W}$

حساسية الغلفانوميتر  $15.5 \text{ mm /}\mu\text{A}$  للمقياس Direct (للتأكد انظر المعلومات خلف الجهاز)  
مقاومة الغلفانوميتر  $14 \Omega$ .

استخدم هذه المعلومات لحساب قيمة الثابت  $\beta$ .

إذا كانت d تمثل انحراف الغلفانوميتر الناتج عن التقاط الخلية الحرارية لقدرة P فانه يمكن كتابة العلاقة 3 على الشكل التالي (وذلك باستخدام معطيات التجربة):

$$d = \frac{\alpha}{\beta} \sigma T^m \quad (4)$$

أثبت هذه الخطوات وجد الثابتين  $\alpha$  و  $\beta$ . ما هي وحدات كل منهما؟

**الخطوات:**

- 1- رتب الأجهزة كما في الشكل (3-2) وسجل المسافة بين فتحة الفرن وبين كل من الفتحة المنغبرة وفتحة الخلية الحرارية.

- 2- استخدم تشابه المثلثات لتحديد قطر الفتحة المتغيرة اللازم لإمرار أكبر كمية من الإشعاع الذي يُمكن التقاطه بواسطة الخلية -انظر الشكل (2-3).
- 3- شغّل مضخة الماء المستخدمة للتبريد وتأكد من أنها تعمل. ما فائدة مضخة التبريد؟
- 4- ضع مؤشر الجهد في مولد الطاقة على جهد 220 فولت وراقب ارتفاع درجة الحرارة وانحراف مؤشر الغلفانوميتر.
- 5- سجّل في جدول درجة الحرارة (T) وانحراف مؤشر الغلفانوميتر d بين (100 °C) و (340 °C) خذ قراءة كلّ عشرين درجة (مجموع القراءات = 13).
- 6- [ما الفائدة من إهمال درجات الحرارة  $100^\circ\text{C} < T$  ؟]
- 7- للتبريد نطفئ مولد الطاقة. كرّر الخطوة السابقة 5 وسجّل T و d خلال انخفاض درجة الحرارة من  $340^\circ\text{C}$  إلى  $100^\circ\text{C}$  كلّ عشرين درجة. ما الفرق بين التبريد هنا والتبريد باستخدام المضخة؟
- 8- خذ متوسط القراءات في الحالتين ومثّل بيانياً العلاقة بين  $\ln T$  و  $\ln d$  على ورقة رسم بياني. من الخط المستقيم الذي يُمثّل العلاقة السابقة وباستخدام طريقة Least Squares أحسب (m) و (σ) مع قيم الخطأ (Δm) و (Δσ).

### أسئلة:

1. لماذا يمكن اعتبار الفجوة ذات الفتحة الصغيرة جسماً أسوداً؟
2. أيّ القراءات أفضل: في حالة التسخين أم في حالة التبريد ولماذا؟
3. ماذا تُمثّل قراءة الغلفانوميتر؟ هل يمكنك أن توضح هذه الانحرافات على الشكل 2-1؟
4. هل يمكنك أن توضح كيف تم إثبات تكميم الإشعاع من خلال هذه التجربة؟
5. قارن بين القدرة الإشعاعية والقدرة الامتصاصية للجسم الأسود.
6. ابحث عن أسباب الأخطاء في هذه التجربة. (مثلاً هل حساسية الخلية الحرارية ثابتة فعلاً مهما كان طول الموجة الملتقط؟...).



## Millikan Oil - Drop Experiment

**الهدف:** حساب شحنة الإلكترون  $e$  باستخدام "قطرة الزيت"، إثبات تكميم الشحنة.

**الأجهزة:** ميكروسكوب، مكثف ذو صفيحتين متوازيتين، مصباح إضاءة، سلك بلاستيكي، بخاخة زيت، مولد طاقة، مفتاح ثلاثي وساعة توقيت.

**تمهيد نظري:**

في أول تجربة لقياس شحنة الإلكترون، قام ميليكان (Millikan 1868-1953) بشحن قطرة زيت وتركها تتحرك تحت تأثير قوتين متعاكستين بحيث أصبحت القطرة في حالة توازن وبالتالي أمكن حساب شحنة الإلكترون.

لنفرض أن كرة نصف قطرها  $(a)$  وكثافتها  $(\rho)$  تسقط في وسط كثافته  $(\sigma)$  ولزوجته  $(\eta)$  هناك قوتان تؤثران على هذه الكرة: وزنها الظاهري  $w'$  إلى الأسفل (في اتجاه الحركة) وقوة اللزوجة  $F_s$  (أو قوة ستوكس المعاكسة للحركة والتي تتناسب طردياً مع السرعة) إلى الأعلى.

$$w' = \frac{4}{3} \pi a^3 (\rho - \sigma) g \quad (1)$$

$$F_s = 6 \pi \eta a v \quad (2)$$

حسب قانون نيوتن الثاني فإن الكرة تتسارع في البداية، وهذا يعني أن  $F_s$  تزداد حتى تتساوى القوتان  $w'$  و  $F_s$  (أي تصبح محصلة القوى الخارجية المؤثرة على الكرة = صفراً). ويحدث هذا عند سرعة حدية (عظمى)  $v_c$ . وحسب قانون نيوتن الأول فإن الكرة تسير عندها بالسرعة  $v_c$  أي أن:

$$w' = \frac{4}{3} \pi a^3 (\rho - \sigma) g = 6 \pi \eta a v_c \quad (3)$$

من ناحية أخرى، إذا شُحنت هذه الكرة بشحنة  $q$  وأسقطت كما سبق مع التأثير عليها بمجال كهربائي  $E$  معاكس لاتجاه الجاذبية الأرضية فإنها سوف تتحرك بسرعة حدية ثابتة إلى الأعلى عندما تتساوى القوة الكهربائية  $qE$  المؤثرة عليها مع مجموع وزنها الظاهري وقوة ستوكس (لاحظ أن  $F_s$  تؤثر، في هذه الحالة، بعكس اتجاه السرعة) أي عندما تتحقق المعادلة التالية:

$$qE = w' + 6 \pi \eta a v_E \quad (4)$$

بفرض أن المسافة المقطوعة في الحالتين (بوجود  $E$  وعدمه) هي  $d$  وأن  $t_1$  و  $t_2$  هما الزمانان اللذان قطع المسافة  $d$  عند غياب  $E$  وبوجود  $E$  على الترتيب فإن:

$$v_E = \frac{d}{t_2}, \quad v_c = \frac{d}{t_1} \quad (5)$$

لنفرض أيضاً أن مكثفاً ذا صفيحتين متوازيتين البعد بينهما  $L$  وفرق الجهد بينهما  $(V)$  أستخدم لتوليد  $E$  أي:

$$V = E \cdot L \quad (6)$$

من المعادلات 1، 2، 3، 4، 5 و 6 نجد:

$$q = \frac{K}{V} \left( \frac{t_1 + t_1}{\sqrt{t_1} t_2 t_1} \right) \quad (7)$$

حيث K ثابت

$$K = \frac{9 \pi \sqrt{2} \eta^{3/2} d^{3/2} L}{\sqrt{(\rho - \sigma) g}} \quad (8)$$

اعتبر المعطيات التالية:

$$\sigma = 1 \text{ Kg.m}^{-3}, \quad \rho = 886 \text{ Kg.m}^{-3}, \quad g = 9.806 \text{ m.s}^{-2}$$

$$L = 7.6 \text{ mm}, \quad \eta = 1.81 \times 10^{-5} \text{ N.m}^{-2} \text{ s}$$

**أكتب قيمة الثابت (K) ووحده.**

في هذه التجربة سوف نجعل قطرة زيت مشحونة تسقط مسافة ثابتة d ونقيس الزمن اللازم لذلك ( $t_1$ ) ثم سنؤثر عليها بمجال كهربائي معاكس لاتجاه سقوطها ونقيس الزمن ( $t_2$ ) اللازم لكي ترجع نفس المسافة d ومما سبق سوف نحسب شحنة الإلكترون.

### الخطوات:

#### (A) المسافة المقطوعة في الصعود والهبوط ( $d$ ).

- 1- اختر قيمة d التي تراها مناسبة لمراقبة قطرات الزيت. وحافظ عليها على طول القياسات. ملاحظة: يجب اختيار المسافة d بحيث نضمن أن القطرة تسير خلالها بسرعة ثابتة.
- 2- ركّز الميكروسكوب بحيث يبدو السلك واضحاً تماماً (Focusing). أترك الميكروسكوب في ذلك الوضع تماماً بدون تغيير إطلاقاً.

#### (B) قياس زمن الهبوط $t_1$ وزمن الصعود $t_2$

- 1- طبق فرق جهد مقداره 300 V بين صفيحتي المكثف (الرسم التوضيحي الموجود سهل وبيّن كيف يتم التوصيل). لاحظ أن المفتاح الثلاثي يسمح بجعل أي من الصفيحتين إما موجبة وإما سالبة. ابدأ بوضع المفتاح بحيث لا تتشحن أي من الصفيحتين. كيف؟
- 2- رُشّ بعض قطرات الزيت داخل الجهاز بواسطة ذراع البخاخ وانظر من خلال الميكروسكوب لمشاهدة القطرات وهي تسقط سقوطاً حراً بين صفيحتي المكثف. ضع الذراع على وضع oil droplet.
- 3- اشحن القطرة. هناك مصدر مشع لهذا الغرض.
- 4- لاحق قطرة معينة واستعمل ساعة التوقيت المتوفرة لديك لقياس ( $t_1$ ) الزمن اللازم للقطرة

حتى تقطع المسافة d هبوطاً.

- 5- عند وصول القطرة إلى الخط السفلي اضغط على زر ساعة التوقيت لحفظ  $t_1$ . اترك القطرة تنزل قليلاً تحت الخط (لماذا؟) وطبق وبسرعة فرق جهد معاكس لترتفع حتى الخط العلوي وعندها اضغط على زر ساعة التوقيت لقياس ( $t_2$ ) الزمن اللازم للقطرة لصعود المسافة d.
- 6- سجّل ( $t_1$ ) و ( $t_2$ ) وتقدير للخطأ في قياسهما في جدول خاص.
- 7- كرر الخطوات 5, 6, 7 لخمس عشرة (15) قطرة على الأقل.
- 8- احسب شحنة كل قطرة وسجّل ذلك في الجدول السابق.

#### حساب قيمة الشحنة الأساسية:

- 1- اختر أصغر شحنة (ولنسمّها  $Q_s$ ) في الجدول السابق واقسم كلاً من الشحنات الأخرى على ( $Q_s/n$ ) حيث ( $n$ ) عدد صحيح (1, 2, 3 ...). ما هو المعنى الفيزيائي لهذه العملية؟
- 2- ضع نواتج القسمة في كل مرة في عمود مستقل في نفس الجدول.
- 3- عندما تحصل في أحد الأعمدة على أكبر عدد من الأعداد الصحيحة ولنفرض أن هذا حصل عند ( $n = 11$ ) يمكنك التوقف وعندئذ تكون شحنة الإلكترون  $e = \frac{Q_s}{11}$ . لماذا؟

#### أسئلة:

- 1- كيف تنشحن القطرات في هذه التجربة؟ حاول أن تجد كيف عمل ميلكان هذه التجربة.
- 2- هل يمكنك تغيير شحنة قطرة ما؟
- 3- بإمكانك إيقاف قطرة ما بتغيير ( $V$ ). هل تتغير إجابتك نتيجة لذلك؟
- 4- كيف يمكنك استنتاج أن الشحنة مكماة من خلال هذه التجربة؟
- 5- ما هي أهم الأخطاء المرتكبة في هذه التجربة؟





## Electron Diffraction

**الهدف:** التحقق من الطبيعة الموجية للأجسام المادية.

حساب المسافة بين سطوح التماثل الذري لبلورة الغرافيت.

**الأجهزة:** أنبوب مفرغ ( يحوي مدفع إلكترونات وبلورة غرافيت) مولد جهد عال وفولتميتر.

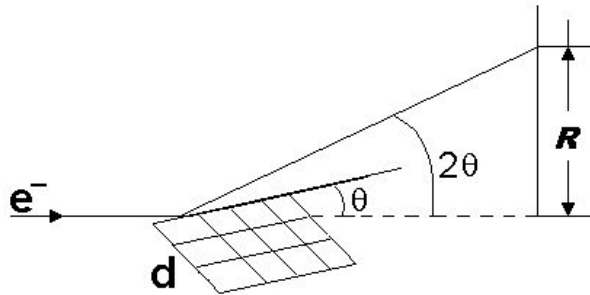
**تمهيد نظري:**

يرتبط طول موجة الضوء  $\lambda$  بزخم (كمية تحرك) الفوتون  $p$  بالعلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

حيث  $(h)$  هو ثابت بلانك. وقد اقترح دي بروي (De Broglie) في رسالة الدكتوراه التي قدمها في السوربون عام 1925 أن هذه العلاقة صحيحة للأجسام المادية أيضاً، مما يستدعي وجود طبيعة موجية للأجسام المادية. وقد دلت نتائج تجارب دافيسون وجيرمر (Davisson & Germer) لتشتت الإلكترونات عن سطوح بلورية على صحة هذه الفرضية وبشكل قاطع (فسر).

يُبين الشكل 1-4 تشتت الإلكترونات بعد اختراقها صفيحة رقيقة من الغرافيت التي تحتوي على بلورات صغيرة باتجاهات عشوائية



الشكل 1-4: تشتت الإلكترونات لدى اختراقها صفيحة من الغرافيت

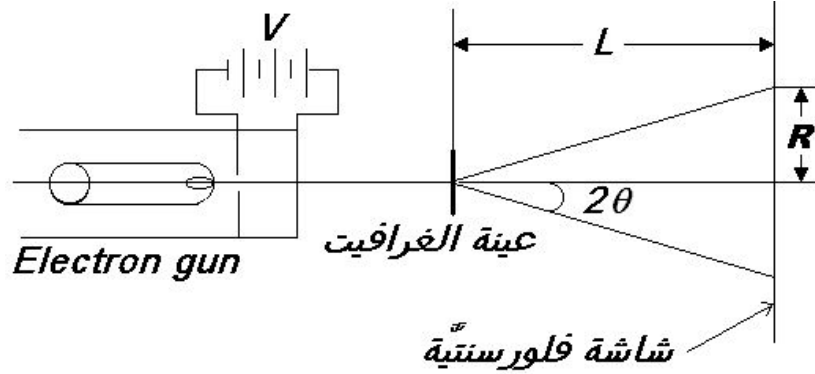
ونحصل على قيم عظمى لعدد الإلكترونات المتشتتة بدلالة زاوية التشتت من العلاقة:

$$2 d \sin \theta = m \lambda \quad (\text{قانون براغ Bragg's Law}) \quad (2)$$

حيث  $(d)$  هي المسافة بين السطوح الذرية (الشكل 2-4) و  $(m)$  عدد صحيح هو ترتيب القيمة العظمى (باستخدام نفس المصطلحات المستخدمة في دراسة حيود الضوء، انظر تجربة رقم 6).

يُبين الشكل 2-4 تشتت حزمة من الإلكترونات من سطح إحدى البلورات الصغيرة الموجودة داخل صفيحة الغرافيت الرقيقة مكونة نقطة مضيئة (قيمة عظمى) على الشاشة الفلورسنتية على بعد  $R$  من النقطة المركزية وبما أن العينة تحتوي على أعداد هائلة من مثل هذه البلورات الصغيرة وترتيب عشوائي فإن الإلكترونات المتشتتة من هذه السطوح الذرية (المسافات بينها  $d$ ) تشكل حلقة نصف قطرها  $R$  بدلاً

من نقطة أو مجموعة مُحدَّدة من النقاط.



الشكل 2-4

أمّا إذا كانت الذّرات مرتبة على سطوح ذريّة لها أكثر من بعد مميز  $d$ ، (كما هو الحال في الغرافيت حيثُ تتوزع الذّرات على سطوح ذرية البعد بينها  $d_1 = 2.13 \text{ \AA}$  وسطوح ذريّة أخرى البعد بينها  $d_2 = 1.23 \text{ \AA}$ ) فإننا نتوقع الحصول على حلقتين في كلّ ترتيب  $m$  بدلا من حلقة واحدة، لماذا؟  
إذا اعتبرنا سرعة الإلكترونات في العلاقة 1 غير نسبية وأنّ فرق الجهد المستخدم لتسريع الإلكترونات التي تتفاعل مع الصفيحة هو ( $V$ ) فان طول موجة دي بروي المصاحبة لكل من هذه الإلكترونات يُعطى بالعلاقة:

$$\lambda = \frac{\sqrt{150}}{\sqrt{V}} \text{ \AA} \quad (3)$$

كما يُمكن إيجاد علاقة بين نصف قطر حلقة الحيود  $R$  وزاوية التشتت بالاستعانة بالشكلين 1-4 و 2-4:

$$\tan 2\theta = R / L \quad (4)$$

حيثُ ( $L$ ) المسافة بين العينَة وشاشة تجميع الإلكترونات. وعندما تكون  $\theta$  صغيرة كما هو الحال في هذه التجربة فإنّ  $\sin 2\theta \cong \tan 2\theta \cong 2\theta$  ويربط العلاقات السابقة واعتبار ( $L=13.5 \text{ cm}$ ) نجد العلاقة التالية بين نصف قطر حلقة الحيود  $R$  وجهد التسريع  $V$  والمسافة بين سطوح التماثل الذرية  $d$ :

$$R \cong (165.375/d)/\sqrt{V} \quad (5)$$

حيثُ تُعطى ( $R$ ) بوحدة  $\text{cm}$ ، ( $d$ ) بوحدة  $\text{\AA}$  و ( $V$ ) بالفولت.

### الخطوات:

- 1- صلّ دائرة التسخين ودائرة التسريع وانتظر بضع دقائق.
  - 2- ارفع جهد التسريع ( $V$ ) ببطء.
- سوف ترى الشاشة الفلورسنتية بأكملها متوهجة. على ماذا يدل ذلك؟  
ماذا تمثل البقعة المضيئة في منتصف الشاشة الفلورسنتية؟

3- استمر برفع جهد التسريع حتى ترى حلقتي الحيود.

c. عند أي جهد تظهر حلقتا الحيود؟

d. هل كان هناك حيود قبل هذا الجهد؟ فسر ذلك من خلال شرط الحيود.

e. نلاحظ وجود سماكة لحلقتي الحيود. هل بإمكانك تفسير وجود هذه السماكة؟

4- قياس نصف قطر كل حلقة:

ابدأ بأقل جهد تسريع ترى معه حلقات حيود.

نلاحظ أنه من الأسهل قياس قطر الحلقة ولكي تكون قياساتنا أدق ما يمكن فإننا يجب أن نقيس قطر كل من الحلقتين عمودياً وأفقياً. انظر الشكل 3-4.

$$\overline{D}_{in} = \frac{1}{2} [D_{in}^h + D_{in}^v] \quad (6)$$

$$\overline{D}_{out} = \frac{1}{2} [D_{out}^h + D_{out}^v] \quad (7)$$

فإن متوسط سمك الحلقة يُعطى بالعلاقة التالية:

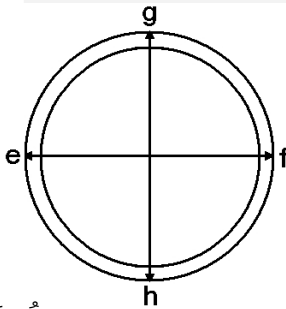
$$\delta = \frac{1}{2} (\overline{D}_{out} - \overline{D}_{in}) \quad (8)$$

ويمكننا اعتبار أن نصف قطر الحلقة الذي نريده هو:

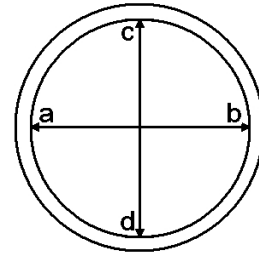
$$R = \frac{1}{2} (\overline{D}_{in} + \delta) \quad (9)$$

والخطأ هو:

$$\Delta R = \frac{1}{2} \sqrt{(\Delta \overline{D}_{in})^2 + (\Delta \delta)^2} \quad (10)$$



ب: قياس قطر الحلقة الخارجي أفقياً وعمودياً



أ: قياس قطر الحلقة الداخلي أفقياً وعمودياً

الشكل 3-4

لنُسمِّ  $D_{in}^h$ ,  $D_{in}^v$ ,  $D_{out}^h$  و  $D_{out}^v$  قطر الحلقة الداخلي الأفقي، قطر الحلقة الداخلي العمودي، قطر الحلقة الخارجي الأفقي وقطر الحلقة الخارجي العمودي على التوالي (المسافات ab, cd, ef و gh في الشكل 3-4 على التوالي).

إذا عرفنا متوسط قطر الحلقة الداخلي ومتوسط قطر الحلقة الخارجي كما يلي:

- 5- يجب أن تحسب الخطأ الذي ترتكبه بدقة.
- هل ترى أكثر من حلقة أو حلقتين عند أقل جهد تسريع ضروري لتكوين حلقات حيود؟ ارفع قيمة  $(V)$  من القيمة الصغرى التي وجدتتها في الخطوة السابقة بمقدار 0.5 kV وسجل في جدول  $(V)$  و  $D_{in}^h, D_{in}^v, D_{out}^h$  و  $D_{out}^v$  لكل من حلقتي الحيود.
- هل ترى أكثر من حلقتين عند الجهود المرتفعة. علّل !
- 6- سجل في جدول قيم  $V$  و  $R_1$  و  $R_2$ .
- 7- أعد الخطوة 4 السابقة حتى  $(V = 5 \text{ kV})$ .
- 8- سجل في جدول قيم  $V$  و طول موجة دي بروي للإلكترونات المرادفة.
- 9- أرسم على نفس ورقة الرسم البياني علاقة خطية بين  $k$  من  $R_1$  و  $R_2$  وجهد التسريع  $V$ .
- 10- من العلاقة الخطية السابقة وباستخدام طريقة Least Squares احسب  $(d_1)$  و  $(d_2)$  المسافتين بين سطوح التماثل الذرية مع قيم الخطأ. قارن نتائجك بالقيم المعروفة.
- 11- أرسم على نفس ورقة الرسم البياني علاقة خطية بين  $k$  من  $\lambda$  وجهد التسريع  $V$ .
- 12- من العلاقة الخطية السابقة وباستخدام طريقة Least Squares احسب  $(\theta_1)$  و  $(\theta_2)$  زاويتي السقوط على سطحي التماثل الذريين مع قيم الخطأ.

### أسئلة:

- 1- فسر لماذا يمكن اعتبار زاوية التشتت  $\theta$  صغيرة.
- 2- اشتق العلاقتين (3) و (5) (لاحظ اعتمادهما على الطبيعة الموجية للإلكترونات).
- 3- هل يمكنك اعتبار أن الحلقتين الناتجتين ليستا نتيجة اختلاف قيم  $d_1$  و  $d_2$  وإنما نتيجة اختلاف قيم  $(m)$ ؟ فسر ذلك من خلال نتائجك.
- 4- وضّح على ضوء نتائجك كيف أمكن التحقق من هدف التجربة.

## Fine Beam Tube

### e/m Measurement

الهدف: - دراسة حركة جسيم متحرك مشحون في مجال مغناطيسي

- حساب الشحنة النوعية للإلكترون e/m.

الأجهزة: أنبوب مفرغ مجهز بمدفع إلكتروني، ملفا هلمهولتز، بطاريات، مولد طاقة، ريوسات وأمترات

تمهيد نظري:

تخضع أية شحنة كهربائية (q) تسير بسرعة  $\vec{v}$  في مجال مغناطيسي  $\vec{B}$  لقوة مغناطيسية  $\vec{F}_M$  تُعطى بالعلاقة التالية:

$$\vec{F}_M = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

إذا كانت  $\vec{v}$  عمودية على  $\vec{B}$  فإن الشحنة تسير في مسار دائري نصف قطره (R) بحيث أن مقدار القوة المركزية ( $F_C$ ) يساوي مقدار القوة المغناطيسية ( $F_M$ ) أي:

$$\frac{m v^2}{R} = q v B \quad (2)$$

من العلاقة (2) نجد أنه في حالة الإلكترون، شحنته ( $q = e$ ):

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{B R} \quad (3)$$

يمكن معرفة السرعة ( $v$ ) من فرق الجهد (V) اللازم لتسريع الإلكترون إلى هذه السرعة:

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V \quad (4)$$

من العلاقتين (3) و (4) نجد أن:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 V}{B^2 R^2} \quad (5)$$

إذا أُستخدم ملفا هلمهولتز لتوليد المجال المغناطيسي وحيث أن المجال المغناطيسي الناتج عن هذين الملفين في نقطة تقع على الخط الواصل بين مركزيهما يُعطى بالعلاقة:

$$B = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{r} \quad (6)$$

حيث  $r$  = نصف قطر كل لفة،  $N$  = عدد اللفات لكل من الملفين و  $I$  شدة التيار المار في كل من الملفين  
فإن العلاقة 5 تكتب على الشكل:

$$\frac{e}{m} = \frac{125}{32} \frac{r^2 V}{\mu_0^2 N^2 I^2 R^2} \quad (7)$$

في هذه التجربة سوف تُسرَّع حزمة من الإلكترونات في مجال مغناطيسي عمودي على اتجاه سرعة الإلكترونات ونقيس نصف قطر المسار الدائري الناتج وذلك في حالتين: تغيير سرعة الإلكترونات (بتغيير (V جهد التسريع) وثبتت المجال المغناطيسي (B)، أي بثبتت I، ومن ثم بتغيير (B) وثبتت (V). وسوف نحسب قيمة الشحنة النوعية (باستخدام العلاقة 7) في الحالتين وتكون نتيجة قياسنا النهائية هي المتوسط الحسابي للقيمتين السابقتين.

### الخطوات:

تفحص الأجهزة المتوفرة لديك وخاصة المدفع الإلكتروني.

أين المصعد والمهبط؟ كيف تتولد الإلكترونات وكيف تُسارع؟

تعرف على ملفي هلمهولتز؟ قيس نصف القطر (r) وسجل (N) عدد اللفات.

1. صل الدارة الموضحة في الشكل 5-1.

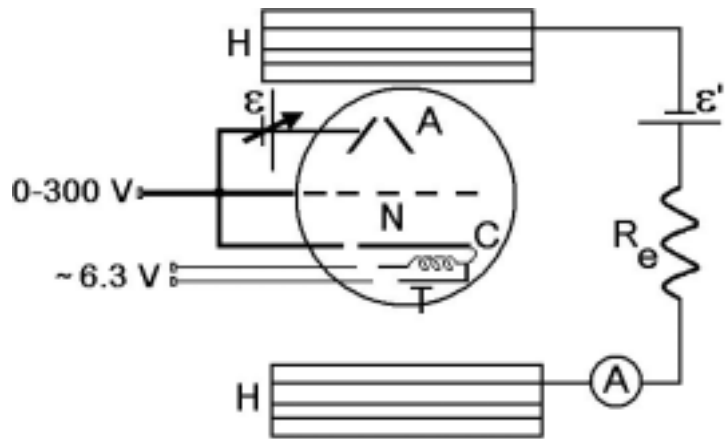
أترك البطاريات والمولدات بدون توصيل إلى أن يتأكد الأستاذ المشرف من صحة توصيلاتك.

2. صل دارة التسخين (T) لوحدها لعدة دقائق.

3. أكمل إيصال الدارة في الشكل 5-1 وطبق فرق جهد قليلاً (حوالي 90V) ولاحظ تسرب

الإلكترونات من فتحة المصعد

A = Anode      مصعد  
C = Cathode    مهبط  
T =            دارة تسخين  
N =            شبكة  
H =            ملفا هلمهولتز



الشكل 5-1: دارة القياس

4. صل ملفي المغناطيس بالبطارية (يُمكن استخدام أكثر من بطارية إذا احتجت لذلك) وزد فرق

الجهد حتى ترى انحناء حزمة الإلكترونات في مسار دائري تماماً. قيس قطر الدائرة (2R).

(لا تنس أن تسجل الخطأ  $\Delta(2R)$  والذي يساوي  $2\Delta R$ ).

5. غير (V) مع إبقاء I ثابتاً وكرّر الخطوة السابقة.

خذ ست قراءات على الأقل وسجلها في جدول (رقم 1).

ملاحظة: افصل البطارية ومولد الجهد لعدة دقائق لتبريد الريوستات حتى تحصل على قيم صحيحة للتيار في الخطوة التالية.

6. ثبت جهد المصعد على (180V) وغير التيار  $I$  المار في ملفي هلمهولتز. سجل  $I$  ونصف قطر

مسار الإلكترونات الناتج. خذ ست قراءات على الأقل وسجلها في جدول (رقم 2).

افصل البطارية ومولد الجهد فور انتهائك من هذه الخطوة.

7. استخدم الجدول رقم 1 الذي حصلت عليه في الخطوة 7 وارسم بيانياً علاقة خطية بين  $R$  و  $V$

(استخدم (Least Squares) لذلك). أحسب  $e/m$  ونسبة الخطأ التي تعطينا إياها (L. S. M).

8. استخدم الجدول رقم 2 الذي حصلت عليه في الخطوة 7 وارسم بيانياً علاقة خطية بين  $R$  و  $I$

(استخدم (Least Squares) لذلك).

احسب  $e/m$  ونسبة الخطأ التي تعطينا إياها (L. S. M).

9. قارن بين نتيجتي الخطوتين السابقتين وخذ متوسطهما ولنسمه  $(\overline{e/m})$ .

### أسئلة :

1. ما الذي يحدث لو كانت سرعة الإلكترونات غير عمودية على  $\vec{B}$  ؟

2. لماذا جعل جهد الشبكة سالباً ؟

3. لماذا يكون لون حزمة الإلكترونات أزرق ؟

4. ضع في جدول قائمة بالأجهزة الميينة في الشكل 1-5 ووظيفة كل واحد منها.

5. هل يمكن استبدال ملفي هلمهولتز بملف واحد؟ اشرح إجابتك بشكل وافٍ





## Diffraction Grating

الهدف:

- دراسة حيود الضوء عند مروره خلال شبكة حيود،
- إيجاد قوة التشتت (Dispersion power)
- إيجاد قوة تحليل الشبكة (Resolving Power)
- حساب ثابت ريديبرغ (Rydberg Constant) باستخدام طيف الهيدروجين.

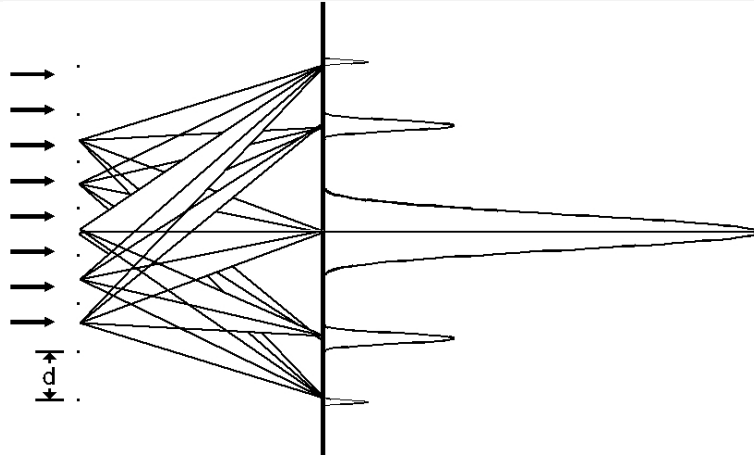
إثبات تكميم مستويات الطاقة في الذرة.

الأجهزة: شبكات حيود، مصادر ضوئية وحيدة أو متعددة الألوان، منصة تحليل مع منقلة دائرية وتلسكوب.

تمهيد نظري:

إذا وضعت شبكة الحيود بين مصدر يعطي حزمة من الأشعة المتوازية وشاشة لتجميع الأشعة نلاحظ على الشاشة مناطق مضيئة تفصلها مناطق معتمة كما يبين الشكل 1-6 (لاحظ شدة الاستضاءة) وبدل الرقم  $m$  على ترتيب المنطقة المضيئة والتي تُسمى في العادة هدبًا (fringe) وتُعطى مواقع الأهداب ( $\theta$ ) بالعلاقة التالية:

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (1)$$

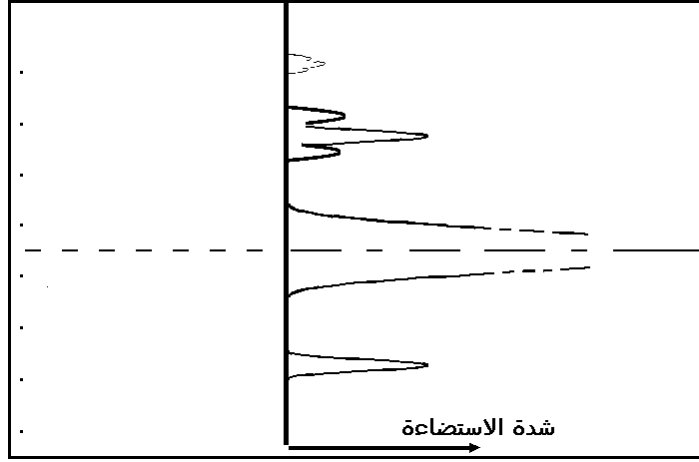


الشكل 1-6: طيف حيود باستخدام شبكة حيود

حيث  $d$  هو البعد بين شقين متتاليين في شبكة الحيود و  $\lambda$  هو طول الموجة الساقط.

ماذا يحدث إذا كان الضوء الساقط مركبًا (أي يحتوي على أكثر من طول موجي، كالضوء الأبيض مثلاً)؟ في هذه الحالة يتحلل كلُّ هدب إلى مجموعة من الخطوط ذات أطوال موجية مختلفة (لماذا)؟ ولهذا نرى مجموعات من الخطوط ذات الألوان المختلفة (على الرغم من أنه لا يمكن تمييز الألوان القريبة جدًا من

بعضها كخطي الصوديوم الأصفرين، لماذا؟) كما يُوضح الشكل 6-2، وهكذا تعمل شبكة الحيود عمل محلل الضوء.



الشكل 6-2: طيف حيود باستخدام شبكة حيود

إذا كانت الزاوية  $\theta$  تُمثّل موقع الهدب المضيء ذي الترتيب  $m$  و  $\Delta\theta$  تُمثّل عرض هذا الهدب (أي الزيادة في الزاوية عند الانتقال من مركز الهدب المضيء إلى مركز الهدب المعتم الذي يليه) فإنّ التغير في الطور بين الأمواج  $\Delta\Phi$  القادمة من شقين متجاورين والذي يؤدي إلى هدب معتم يُعطى بالعلاقة:

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{N} \quad (2)$$

حيث  $N$  عدد الشقوق في الشبكة (علّل ذلك!).

وأما التغير في المسار  $\Delta L$  فيُعطى بالعلاقة:

$$\Delta L = d \sin(\theta + \Delta\theta) - d \sin(\theta) \quad (3)$$

وباستخدام العلاقة التالية التي تربط بين الفرق في الطور والفرق في المسار:

$$\frac{\Delta\Phi}{2\pi} = \frac{\Delta L}{\lambda} \quad (4)$$

نحصل على:

$$d \cos\theta \sin\Delta\theta = \frac{\lambda}{N} \quad (5)$$

وإذا استعملنا التقريب  $\sin \Delta\theta \approx \Delta\theta$  (لماذا؟) فإنّنا نحصل على علاقة لعرض الأهداب المضيئة التي تقع على زاوية  $(\theta)$  من المركز:

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Nd \cos\theta} \quad (6)$$

تبيّن هذه العلاقة أنّ عرض الهدب المركزي ( $\theta = 0^\circ$ ) يُساوي:

$$\Delta\theta_0 = \frac{\lambda}{ND} \quad (7)$$

أ. تشتيت الشبكة (Dispersion Power of the grating).

تُسمى الكمية  $D = \frac{\partial \theta}{\partial \lambda}$  تشتيت الشبكة (Dispersion Power of the grating) ومن العلاقة (1)

يمكن الحصول على هذه الكمية:

$$D = \frac{\partial \theta}{\partial \lambda} = \frac{m}{d \cos \theta} \quad (8)$$

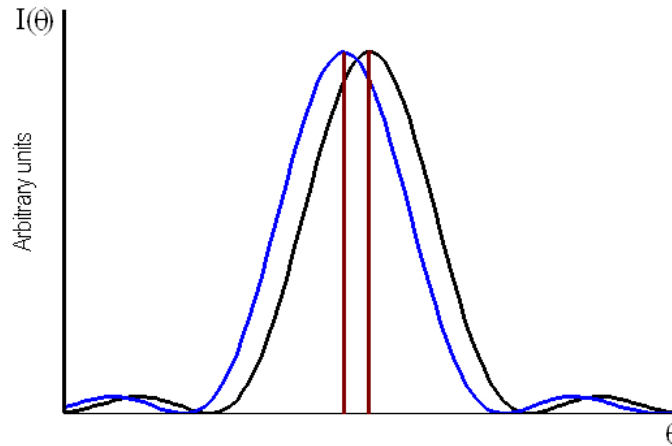
ب) قوة تحليل الشبكة (Resolving Power):

قوة تحليل الشبكة هو عدد يدل على مقدرة الشبكة على إظهار ضوئيين متقاربين (طولا موجتيهما متقاربان) منفصلين عن بعضهما بشكل واضح للعين. لنأخذ ضوعين لهما طولاً موجة  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  متقاربان جداً يمران عبر الشبكة. لنفرض أن الشبكة تُكوّن هديي تداخل لهما كما هو موضح في الشكل 3-6. إذا كانت المسافة بين مركزي الهديين أكبر من عرض أي واحد منهما فيمكن عندئذ تمييزهما عن بعضهما. تُعطى قوة تحليل الشبكة (Resolving power) بالعلاقة:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = D N d \cos \theta \quad (9)$$

حيث تدل  $\lambda$  على متوسط  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  باعتبار أنهما قريبان من بعضهما و  $\Delta \lambda$  على الفرق في الأطوال الموجية بين أقرب خطين يمكن تمييزهما. وباستخدام قيمة  $D$  من العلاقة (8):

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m N \quad (10)$$



الشكل 3-6: قوة تحليل الشبكة

ج) سلسلة بالمر (Balmer series):

تشكل هذه السلسلة خطوط الطيف المرئي في ذرة الهيدروجين و تُعطى الأطوال الموجية لهذه الخطوط بالعلاقة:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{f^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (11)$$

حيث  $R$  ثابت يسمى ثابت ريديرغ (Rydberg Constant)،  $f$  عدد ثابت للسلسلة (وهو العدد الكمي الرئيس للمدار الذي ينتقل إليه الإلكترون من المدار  $n$ ).

### الخطوات:

رتب أجهزة المطياف (Spectrometer) مستخدماً مصباح الصوديوم الأصفر لتحديد موقع الصفرة على المنقلة المنزلقة وذلك بوضع الشعيرة العمودية على الخط الأبيض المركزي المضيء.

1- استعمل أفضل شبكة حيود متوفرة (  $N$  أكبر ما يمكن) وضعها بشكل متعامد على الضوء القادم من المصدر. سجّل موقع الهدب ذي الترتيب  $m = 1$  من الجهتين اليمنى واليسرى بالنسبة للخط المركزي.

ملاحظة: إذا كان الموقعان يختلفان بمقدار أكبر من درجة واحدة ( $1^\circ$ ) عدّل وضع الشبكة حتى يصبح موقع الهدب الأول متساوياً تقريباً من الجهتين.

2- استخدم متوسط موقع الهدب الأول لخطي الصوديوم لحساب المسافة  $d$  بين شقين متجاورين في الشبكة.

3- ابحث عن الهدب ذي الترتيب  $m = 2$  وتأكد من أن خطي الصوديوم منفصلان بشكل واضح. لتحسين تحليل الخطين صغّر عرض الفتحة التي تمرر الضوء من المصدر. سجّل مواقع الخطين من جهتي الخط المركزي واحسب الأطوال الموجية للخطين مستخدماً قيمة  $d$  التي حصلت عليها في الخطوة 2. قارن النتيجة بالقيم المقبولة عملياً.

4- أحسب قوة تحليل الشبكة  $R$  وأحسب ( $\Delta\lambda$ ) لأقرب خطين يمكن تمييزهما عند هذا الطول الموجي (لخطي الصوديوم الأصفرين). أحسب أيضاً العرض النظري للخط من العلاقة (6).

5- هل هذا العرض أكبر أم أصغر من العرض الحقيقي للخط كما نراه في المحلل الضوئي؟ علّل!

6- أطفئ مصباح الصوديوم. استعمل مصباح الزئبق وسجّل مواقع الخطوط المختلفة للترتيب  $m = 1$ . باستطاعتك أيضاً رؤية بعض خطوط الترتيب  $m = 2$  إذا كنت قد اخترت شبكة حيود مناسبة. ما منشأ هذه الخطوط؟

7- احسب الأطوال الموجية لطيف الزئبق وقارنها بالقيم المقبولة عملياً.

- 8- استعمل مصباح الهيدروجين وسجّل مواقع خطوط الطيف (ثلاثة خطوط على الأقل).  
أحسب الأطوال الموجية للخطوط، حدّد الأعداد الكمية (n) لها الواردة في العلاقة (11).
- 9- ارسم العلاقة بين  $1/\lambda$  كمتغير تابع و  $1/n^2$  كمتغير مستقل.
- 10- أحسب ثابت ريديرغ R من الخطوة السابقة وكذلك الخطأ  $\Delta R$ .
- 11- أحسب قيمة العدد الكمي f من الخط المستقيم في الخطوة (8) وباستخدام قيمة R التي حصلت عليها في الخطوة (9) احسب أيضاً f. استخدم طريقة (Least Squares) في كلّ الحسابات السابقة.

### أسئلة :

1. فسّر كيف نحصل على العلاقة 3.
2. اشتق العلاقة 10.
3. استخدم نظرية بور (Bohr) للحصول على العلاقة 11.
4. هل يتبع طيف الزئبق العلاقة سلسلة بالمر (أي العلاقة 11)؟ فسّر إجابتك.
5. لماذا لم تستطع في طيف الهيدروجين رؤية سلسلة باشن أو براكيت؟ هل الانتقالات الذرية التابعة لسلسلة بالمر هي الانتقالات الذرية الوحيدة الحاصلة في ذرات الهيدروجين في هذه التجربة؟ فسّر.
6. هل أطيايف العناصر في هذه التجربة هي أطيايف انبعاث أم أطيايف امتصاص؟ وضح.



## Hall Effect

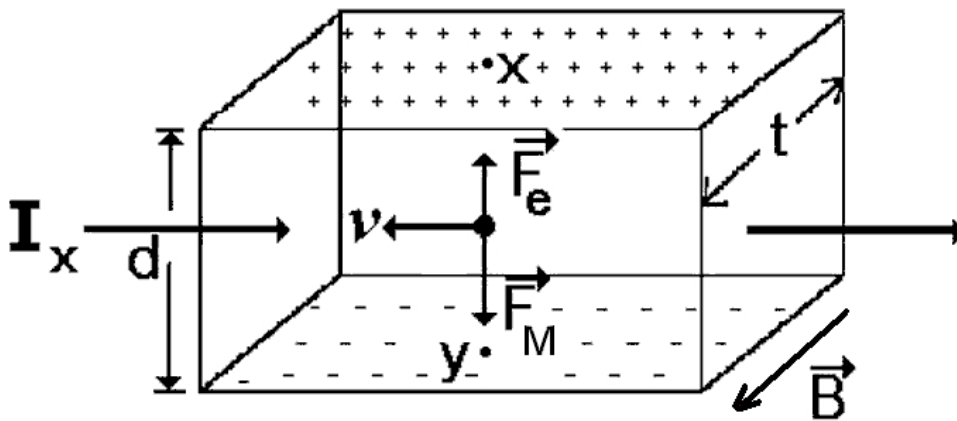
**الهدف:** إثبات وجود أثر هول واستخدامه لحساب معامل هول  $R_H$  وكثافة ناقلات الشحنة الحجمية لمعدن البزموث.

**الأجهزة:** صفيحة بزموث، مغناطيس كهربائي، مولد طاقة، ريوستات، جلفانوميتر ضوئي، تسلاميتر (Teslameter) وأميتر.

**تمهيد نظري:**

إذا مرَّ تيار شدته  $I_x$  في صفيحة معدنية موضوعة في مجال مغناطيسي  $\vec{B}$  فإنَّ ناقلات التيار (الإلكترونات في حالة المعدن) تخضع لقوة مغناطيسية  $\vec{F}_M$  (أنظر الشكل 1-7).

$$\vec{F}_M = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$



الشكل 1-7 : أثر هول

حيثُ تدل  $q$  على شحنة الناقل و  $\vec{v}$  على سرعته. (إذا كانت الشحنة موجبة فإنَّ اتجاه  $\vec{F}_M$  يكون عمودياً على اتجاه كلٍّ من  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  والمستوى الذي يحويهما ونقول أيضاً أنَّ المتجهات  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  و  $\vec{F}_M$ ، على الترتيب، تُشكِّل نظاماً يمينياً (right-handed system)).

إذا كانت ناقلات التيار سالبة فإنَّها تتحرك نحو الصفيحة السفلى في الشكل 1-7 ويتولد مجال كهربائي بين

الصفيحة العلوية والصفيحة السفلى، يُسمَّى مجال هول، وبالتالي تخضع الناقلات لقوة كهربائية  $\vec{F}_e$

معاكسة في الاتجاه للقوة  $\vec{F}_M$ . يستمر نزوح ناقلات الشحنة حتى تتساوى القوتان أي:

$$|\mathbf{q} \vec{v} \times \vec{B}| = |e \vec{E}| \quad (2)$$

بفرض أن  $\vec{B}$  و  $\vec{v}$  متعامدان كما في الشكل 7-1، و إذا كان  $V_H$  هو فرق الجهد (جهد هول) بين النقطتين  $x$  و  $y$  وإذا كان عرض الصفيحة هو  $d$  فإن:

$$V_H = v B d \quad (3)$$

يمكن معرفة قيمة السرعة  $v$  (والتي هي ليست سوى سرعة انسياب الناقلات نتيجة لمرور التيار  $I_x$  في الصفيحة) من العلاقة التالية والتي يسهل برهانها:

$$\text{Error! Objects cannot be created from editing field codes.} \quad (4)$$

حيث  $t$  تمثل سمك الصفيحة و  $n$  كثافة ناقلات الشحنة الحجمية.  
من المعادلتين 3 و 4 نجد أن:

$$V_H = \frac{1}{ne t} I_x B \quad (5)$$

يُسمى المقدار  $\frac{1}{ne}$  معامل هول ويرمز له بالرمز  $R_H$ .

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad (6)$$

وتكتب المعادلة (5) على الصيغة التالية:

$$V_H = R_H \frac{I_x B}{t} \quad (7)$$

في هذه التجربة سوف ندرس تغير جهد هول  $V_H$  مع كلٍّ من  $B$  و  $I_x$  كما سنعين  $R_H$  لمعدن البزموت.

### الخطوات:

أ. تفحص الأجهزة المتوفرة لديك وخاصة المغناطيس الكهربائي - حاول فهم طريقة عمله وتوصيله- وتفحص كذلك التسلاميتز.

ب. معايرة المغناطيس الكهربائي:

ما المقصود بمعايرة المغناطيس الكهربائي؟

1- صل قطبي المغناطيس بمولد الجهد - استخدم الأميتر لقياس  $I_B$  التيار المار في المغناطيس. (يجب أن لا تتجاوز شدة هذا التيار 1A).

2- ضع مسبر هول Hall Probe (المسطرة الخضراء) الموجودة في طرف الحامل بين فكي المغناطيس الكهربائي. لماذا؟



3- شغل التسلايمتر وسجل في جدول (رقم 1) قيمة شدة المجال المغناطيسي  $B$  التي يعطيك إياها التسلايمتر مباشرة، وذلك لعشر قيم للتيار ( $I_B$ ) المار في المغناطيس.

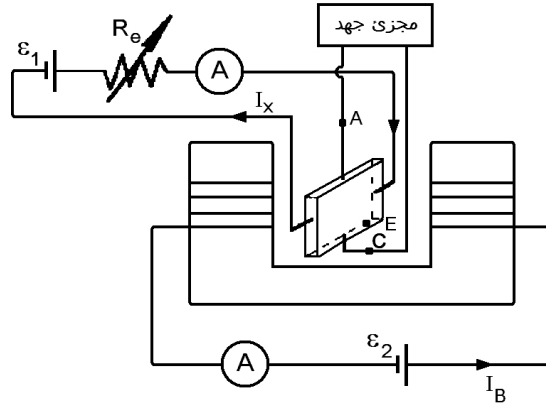
4- استخدم L.S.M. لإيجاد علاقة خطية بين المجال المغناطيسي ( $B$ ) والتيار الكهربائي المار في المغناطيس الكهربائي ( $I_B$ )  $[B = aI_B + b]$ .

هل يمكنك أن تفسر وجود الثابت  $b$  في المعادلة السابقة؟ هل يمكن أن يوجد مجال مغناطيسي في المغناطيس الكهربائي رغم عدم مرور تيار كهربائي خلاله؟ وضح.

5- سوف يتم استخدام العلاقة السابقة لإيجاد المجال المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الكهربائي في الجزئين الثاني والثالث.

ج. معايرة عينة الزموث: (انظر الورقة الموجودة أمامك على طاولة العمل)

1- صل الدارة الموضحة في الشكل 2-7 واترك البطارية والمولد بدون توصيل إلى أن يتأكد المشرف من صحة توصيلاتك.



الشكل 2-7: أثر هول - دائرة القياس

2- ضع مؤشر الغلفانوميتر الضوئي عند الصفر الأيسر، ثم غير  $R_e$  بحيث يكون التيار المار في صفيحة الزموث  $I_x = 4A$  مع إبقاء  $I_B = 0$ . حافظ على هذه القيمة لـ  $I_x$  ولا تتجاوزها في أي حال من الأحوال.

تلاحظ أن مؤشر الغلفانوميتر الضوئي يبتعد عن وضعه الصفري الابتدائي رغم وجود مجال مغناطيسي مسلط على الزموث. لماذا؟

3- باستخدام المفاتيح السوداء أعد المؤشر إلى وضعه الابتدائي. (المفاتيح السوداء تتحكم بقيمة المقاومة المتغيرة الموصولة بالعينة وتعمل عمل مجزئ جهد).

ملاحظة: افصل البطارية ولعدة دقائق لتبريد الريوستات حتى تحصل على قيم صحيحة للتيار في الخطوة التالية.

د. قياس معامل هول:

- 1- قِسْ جهد هول بين النقطتين A و C أي سجّل قراءة الغلفانوميتر (مدى انحراف مؤشره عن الصفر). وذلك لعشر قيم مختلفة لـ B (أي  $I_B$ ). سجّل في جدول (رقم 2) قيم  $I_B$  و  $V$ . انتبه لمقياس الغلفانوميتر المستخدم وسجّل حساسية ومقاومة الغلفانوميتر المرادفتين). استخدم حساسية الغلفانوميتر ومقاومته لتحويل انحرافات الغلفانوميتر (d) إلى قيم مكافئة لفرق جهد هول ( $V_H$ ).
- 2- غَيِّر  $I_B$  بحيث يكون أكبر ما يُمكن (مثلاً  $I_B = 1A$ )، ولا تغيّر  $I_B$  (أي ثبّتها) في الخطوة التالية.
- 3- قِسْ جهد هول بين النقطتين A و C لعشر قيم مختلفة لـ  $I_x$ . سجّل في جدول (رقم 3) قيم  $I_x$  و  $V_H$ .

#### افصل البطارية والغلفانوميتر فور انتهائك من هذه الخطوة.

- 4- استخدم الجدول رقم 1 وأرسم بيانياً العلاقة بين  $I_B$  و  $B$ . (استخدم Least squares لذلك). بهذا تكون قد عايرت المغناطيس الكهربائي، أي أنّ بمقدورك معرفة قيمة شدة المجال المغناطيسي لأية قيمة للتيار  $I_B$ . سوف نستخدم منحنى المعايرة السابق في الخطوات التالية.
- 5- استخدم الجدول رقم 2 وأرسم بيانياً العلاقة بين  $B$  و  $V_H$ . وباستخدام طريقة المربعات الأقل (Least Squares) أوجد  $R_H$ .
- 6- استخدم الجدول رقم 3 وأرسم بيانياً العلاقة بين  $I_x$  و  $V_H$ . وباستخدام طريقة المربعات الأقل (Least Squares) أوجد  $R_H$ .
- 7- قارن بين نتيجتي الخطوتين السابقتين وخذ متوسطهما  $\overline{R_H}$ .
- 8- قارن بين  $\overline{R_H}$  والقيمة المعروفة لمعامل هول للزموث.
- 9- أحسب n كثافة الناقلات الحجمية للزموث المرادفة لـ  $\overline{R_H}$  وقارنها بالقيمة المعروفة.

#### أسئلة :

- 1- هل يُمكن اعتبار فرق الجهد بين النقطتين A و E مساوياً لجهد هول؟
- 2- ما الغرض من معايرة عينة الزموث؟ اشرح ماذا تعمل المفاتيح السوداء بالضبط.
- 3- ما الذي يتغير في كلّ ما سبق لو كانت ناقلات الشحنة موجبة وليست سالبة؟
- 4- هل يُمكنك، وقد أتممت التجربة، تفسير مبدأ عمل التسلاميتر الذي استخدمته؟
- 5- من خلال قيمة (n) التي حصلت عليها في هذه التجربة، هل بإمكانك تحديد إذا كان معدن الزموث موصلاً أو شبه موصل أو عازلاً؟ وضح.